

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE - N° 106

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DES
PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES
DE LA
SOURCE RADIOACTIVE DES ESTREYS
PRÈS LE PUY-EN-VELAY

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

SECTION DE PHARMACIE

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 22 Juin 1925

PAR

André BATISSE

Pharmacien

Licencié ès sciences

Ex-Préparateur des cours de Chimie minérale et analytique

Ex-Moniteur des Travaux pratiques de Chimie biologique et médicale

*Moniteur des Travaux pratiques de Chimie pharmaceutique et analytique
à la Faculté de Médecine et de Pharmacie*

Diplômé de Bactériologie

né à ALLÈGRE (Haute-Loire) le 30 janvier 1901



LYON

Imprimerie BOSC Frères & RIOU

42, Quai Gailleton, 42

Téléphone 63-56

—
1925

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS
CHIMIQUES ET PHYSIQUES DE LA SOURCE
RADIOACTIVE DES ESTREYS,
PRÈS LE PUY-EN-VELAY.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE - N° 106

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
DES
PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET PHYSIQUES
DE LA
SOURCE RADIOACTIVE DES ESTREYS
PRÈS LE PUY-EN-VELAY

THÈSE
POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

SECTION DE PHARMACIE

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 22 Juin 1925

PAR

André BATISSE

Pharmacien

Licencié ès sciences

Ex-Préparateur des cours de Chimie minérale et analytique

Ex-Moniteur des Travaux pratiques de Chimie biologique et médicale

Moniteur des Travaux pratiques de Chimie pharmaceutique et analytique

à la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Diplômé de Bactériologie

né à ALLÈGRE (Haute-Loire) le 30 janvier 1901



LYON

Imprimerie BOSC Frères & RIOU

42, Quai Gailleton, 42

Téléphone 63-56

—
1925

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyen honoraire	M. H. HUGOUNENQ
Doyen	M. J. LEPINE.
Assesseur	M. ROQUE.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, CAZENEUVE, FLORENCE (A.), TEISSIER.

PROFESSEURS

Cliniques médicales	MM. BARD.
Cliniques chirurgicales	ROQUE.
Clinique obstétricale et Accouchements.....	TIXIER.
Clinique ophtalmologique	BERARD.
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....	COMMANDEUR.
Clinique neurologique et psychiatrique.....	ROLLET.
Clinique des maladies des enfants.....	NICOLAS.
Clinique des maladies des femmes.....	LEPINE (J.).
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	MOURIQUAND.
Clinique des maladies des voies urinaires.....	VILLARD.
Clinique chirurgicale, infantile et orthopédie.....	LANNOIS.
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie.....	ROCHET.
Chimie biologique et médicale.....	NOVE-JOSSERAND.
Chimie organique et Toxicologie.....	CLUZET.
Matière médicale et Botanique.....	HUGOUNENQ.
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.....	MOREL.
Anatomie	BRETIN.
Histologie	GUIART.
Physiologie	LATARJET.
Pathologie Interne	POLICARD.
Pathologie et Thérapeutiques générales.....	DOYON.
Anatomie pathologique	COLLET.
Chirurgie opératoire.....	X.
Médecine expérimentale et comparée et bactériologie.....	PAVIOT.
Médecine légale	PATEL.
Hygiène	ARLOING (F.).
Thérapeutique, Hydologie et Climatologie.....	Etienne MARTIN.
Pharmacologie	COURMONT (P.).
	PIC.
	X.

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours de Pathologie externe.....	MM. VALLAS.
— — Propédeutique de gynécologie.....	CONDAMIN.
— — Chimie minérale	BARRAL.
— — Urologie	GAYET.

CHARGES DE COURS COMPLEMENTAIRES

Orthopédie	MM. LAROYENNE.
Puériculture et hygiène de la première enfance.....	CHATIN.
Stomatologie	TELLIER.

AGREGES

MM.	MM.	MM.	MM.
NOGIER.	COTTE.	CORDIER (V.).	MAZEL.
THEVENOT (Léon)	DUROUX.	ROUBIER.	SANTY.
GARIN.	TRILLAT.	FAVRE.	DUNET.
SAVY.	SARVONAT.	BONNET.	CHALIER (André).
FROMENT.	FLORENCE (G.).	RHENTER.	CHALIER (Joseph).
THEVENOT (Lucien).	ROCHAIX.	LEULIER.	NOEL.
PIERY.			CORDIER (Pierre).

M. BAYLE, secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. BARRAL, président ; MOREL, assesseur ;
NOGIER et FLORENCE, agrégés.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.



A MON PÈRE ET A MA MÈRE

Je dédie cette thèse, faible hommage de reconnaissance. Grâce à leur existence faite de sacrifices, j'ai pu mener à bien mes études; leur amour du travail n'a eu d'égal que leur dévouement pour moi.

A MA SŒUR ET A MON BEAU-FRÈRE

A MA PETITE NIÈCE, HUGUETTE CHANTEGREL

A LA MÉMOIRE DE MA GRAND'MÈRE

A MES PARENTS, A MES AMIS

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE,
MONSIEUR LE PROFESSEUR BARRAL,
Chevalier de la Légion d'Honneur,
Professeur de Chimie analytique à la Faculté de Médecine
et de Pharmacie.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR MOREL,
Chevalier de la Légion d'Honneur,
Professeur de Chimie organique et de Toxicologie à la Faculté
de Médecine et de Pharmacie.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ NOGIER,
Chevalier de la Légion d'Honneur,
Professeur agrégé de Physique à la Faculté,
Membre de l'Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts
de Lyon.

A M. LE PROFESSEUR AGRÉGÉ GABRIEL FLORENCE

AVANT - PROPOS

Arrivé au terme de mes études, je tiens à remercier mes Maîtres de la Faculté qui me prodiguèrent avec un dévouement sans bornes leurs conseils et leur science.

Pendant quatre années, M. le Professeur Barral, qui m'avait accueilli dans son laboratoire dès mon arrivée à Lyon, ne cessa de m'encourager. Toutes les fois que j'ai eu besoin d'un conseil, d'une explication, d'un service, je me suis adressé à ce Maître vénéré, et tout le temps avec la même amabilité, j'ai obtenu satisfaction. J'ai surtout apprécié sa science inépuisable, son dévouement pour tous ses élèves, lorsque je fus son préparateur. Que M. le Professeur Barral accepte donc ici l'expression de ma reconnaissance sincère et de mon entier dévouement.

M. le Professeur Morel m'agréa auprès de lui comme Moniteur des Travaux pratiques dépendant de sa chaire ; il ne me ménagea pas non plus conseils et marques de sympathie. Trop souvent peut-être, au cours de cette année, je l'ai importuné ; mais son affabilité, son extrême bonté pour moi m'encouragèrent : j'ai rencontré en lui un Maître serviable, se dépensant sans compter pour tous ses élèves et ses collaborateurs.

M. le Professeur agrégé Florence ne me considéra jamais comme un élève, mais toujours comme un ami. Il a été pour moi d'une bonté sans limites ; je n'oublierai jamais la dette de reconnaissance que j'ai contractée envers lui.

Au cours de l'élaboration de ma thèse, j'ai fait appel à la grande science et aux bons conseils de M. le Professeur agrégé Nogier ; allant au-devant de mes désirs, il m'a toujours offert de m'aider et même de procéder lui-même à des déterminations intéressantes et difficiles qu'un expérimentateur savant et méticuleux peut, seul, arriver à obtenir d'une façon parfaite.

Que tous mes Maîtres de la Faculté de Médecine et de Pharmacie, de la Faculté des Sciences acceptent ici l'hommage de ma profonde gratitude.

Mes amis Buisson, Latour et Dargaud ont facilité ma tâche ; qu'ils soient assurés de mon entier dévouement. Je n'oublierai jamais mes camarades de l'Association générale des Etudiants, en particulier : Morin, Puy, Rosier, Romieux et Cousergue, dont j'ai apprécié la gentillesse au cours de mes études.

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS
CHIMIQUES ET PHYSIQUES DE LA SOURCE
RADIOACTIVE DES ESTREYS,
PRÈS LE PUY-EN-VELAY.

INTRODUCTION

Dans les environs immédiats du Puy-en-Velay, un peu au-dessus du village des Estreys, il existe une source ayant un débit d'au moins 25 litres à la minute, qui est fort anciennement connue. Il semble qu'elle ait été utilisée autrefois comme eau de boisson par les gens du pays, qui lui attribuaient des propriétés assez indéterminées, sans que cet usage populaire ait été jusqu'ici justifié par des observations médicales précises. Des savants se sont cependant occupés récemment des Estreys. Nous signalons que M. Boule a étudié spécialement la région du point de vue géologique ; que cette source figure dans le précis d'hydrologie, de géologie et de minéralogie des Professeurs Jadin et Astruc (n^e édition, Paris, 1920, p. 341) ; que M. A. Baldit, du Puy, a découvert la radioactivité de cette source et l'a étudiée, à ce sujet, de 1907 à 1910 ; que M. le Professeur agrégé Nogier, dont on connaît les nombreux travaux sur la radioactivité des

eaux, en 1921, avait déjà déterminé exactement celle de cette source ; que M. Lepape, chef du Laboratoire de l'Institut d'hydrologie et de climatologie de Paris (Collège de France), a fait l'analyse des gaz d'émission de cette source. Cette source présente donc un certain intérêt.

A l'heure actuelle, où l'on s'occupe de reviser un grand nombre d'analyses d'eaux minérales nous avons cru bon d'utiliser les connaissances que nous avons acquises comme Moniteur des Travaux pratiques dirigés par M. le Professeur Barral, chargé du cours d'analyse appliquée et d'hydrologie à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon ; pour effectuer, sous la direction et avec la collaboration des Maîtres dont nous avons plus spécialement fréquenté l'enseignement pratique au cours de nos études, l'examen aussi complet que possible des caractéristiques de l'eau de cette source.

Nous envisagerons dans un premier chapitre les renseignements géographiques et géologiques que nous avons pu nous procurer sur les terrains où est située cette source. Dans un deuxième chapitre, nous exposerons les résultats que nous avons obtenus par l'analyse chimique de l'eau des Estreys. Dans un troisième chapitre, nous parlerons de l'analyse des gaz d'émission. Dans les deux derniers, nous indiquerons quelques déterminations physiques, en faisant ressortir la radioactivité remarquable, et, enfin, nous donnerons les résultats de l'analyse bactériologique.



CHAPITRE PREMIER

Aperçu géographique et géologique de la Région des Estreys.

Un double intérêt s'attache à l'étude de la région des Estreys : l'exacte détermination de son âge géologique d'une part et la récente mise en lumière des propriétés radioactives de l'eau minérale de la source dite : *Source du Pas de la Borne* ; eau minérale que nous nous proposons d'étudier.

C'est à 6 km. 750 du Puy, au nord-ouest de cette ville, que se dresse le village des Estreys, dépendant administrativement de Polignac ; ce village est au pied d'une chaîne cristalline se rattachant à tout un ensemble de crêtes interrompues qui constituent la portion centrale de l'axe de rebroussement des plis de la chaîne hercynienne, région de hautes terres qui a reçu, à cause de l'absence de continuité de ses chaînes, des noms géographiques variés. C'est pour comprendre les phénomènes importants qui ont présidé à leur érection qu'il faut rattacher la géographie du pays à son histoire géologique.

La région des Estreys, dont l'étude fait l'objet de ce chapitre, embrasse une très faible partie de la chaîne du Velay. C'est une région essentiellement volcanique, qui n'offre pas de régularité schématique, et le seul examen d'une carte géographique, s'il permet de se rendre compte de la variété de forme des hauteurs, ne laisse pas deviner facilement leur constitution.

Ce caractère tient à ce que, dans cette zone, les émissions se rattachent à un grand nombre de centres d'émissions, en sorte que les coulées y sont juxtaposées et en quelque sorte éparpillées. C'est ainsi que de Saint-Vidal une crête élevée s'oriente vers l'est, atteignant 840 mètres à l'emplacement même d'une cheminée volcanique (scories de la Cave blanche), au niveau de la source des Estreys qui jaillit à son pied. Quand on recoupe la crête, on voit les terrains s'étendre en pente douce jusqu'à Blanzac, formant ainsi une vaste plateforme mollement inclinée vers le nord-est et accidentée de dépôts basaltiques modernes (fig. 1.). Ce plateau s'arrête brusquement sur son bord méridional et montre des coulées coupées à pic arrivant jusqu'au lit d'un petit affluent de la Loire : la Borne, qui baigne sa base et qui coule à ce moment vers l'est (fig. 2). En face de ce district volcanique, s'étendent des formations identiques d'une altitude moyenne de 800 mètres, qui se poursuivent jusqu'à Ceyssac. Mais, ce qui donne à cette région sa physionomie spéciale, c'est que les terrains oligocènes se trouvent, pour la plupart, dans la partie déprimée d'un synclinal morcelé ; ils constituent les soubassements de tou-

tes les crêtes qui entourent les Estreys. Nous avons remarqué que, parfois, ces couches lacustres se présentent sous la forme de lambeaux surélevés par des failles et garantis de l'érosion par une couverture volcanique : ainsi se présentent les terrains au-dessus même du village. C'est à l'époque pliocène que ces dépôts tertiaires ont été ravinés par des cours d'eau comme la Borne, qui ont déposé d'épaisses couches de graviers que l'on repère aisément en aval. En même temps se formèrent de puissants amas de projections basaltiques, de brèches, de scories qui donnent à cette région son cachet pittoresque.

Ajoutons à ces diverses particularités l'existence d'un thalweg creusé dans un soubassement oligocène que surmontent des formations volcaniques, thalweg qu'emprunte le cours de la Borne. On voit là des superpositions que l'on chercherait vainement ailleurs et qui font tout l'intérêt de cette région au point de vue géologique.

Nous avons signalé l'altitude moyenne de 800 mètres pour la crête et de 840 mètres pour le point culminant, qui domine exactement la source distante de 400 mètres du village des Estreys. L'altitude de la Borne, prise au niveau de la source, est de 665 mètres. Tel est géographiquement, dans ses grandes lignes, l'aspect de la région dont nous allons donner une étude géologique détaillée.

Les considérations exposées plus haut nous ont dicté la méthode à suivre dans nos recherches. Nous avons d'abord décrit les terrains lacustres tertiaires dont l'ensemble constitue le fond commun de toute

la région. Passant aux terrains volcaniques, nous les avons étudiés de près, en insistant sur la succession des phénomènes.

C'est à l'ouest du Puy, dans la vallée de la Borne et les vallons tributaires, que la formation lacustre est très développée. Elle correspond à l'oligocène, qui est une des phases les plus intéressantes de l'histoire du Plateau Central. Au milieu du tertiaire, le Plateau Central a suivi le mouvement continu d'affaissement du Bassin de Paris. Il diminuait ainsi son altitude, ce qui facilitait l'établissement de vastes lacs dans les dépressions du terrain archéen, esquissées à l'époque hercynienne. Ces lacs communiquaient les uns avec les autres, plus ou moins directement, et leurs dépôts caractérisent actuellement des régions géographiques déterminées. Quoique le bassin du Velay puisse sembler, à première vue, parfaitement isolé, il ne s'en rattache pas moins, par une série de lambeaux, au bassin de Montbrison. Ce bassin du Velay atteint son plus grand développement aux environs du Puy, où les terrains oligocènes ont remblayé parfois les dépressions sur une grande épaisseur. Quand on explore la région des Estreys, on ne retrouve pas toute l'épaisseur de ces formations sédimentaires : on remarque que les terrains oligocènes se montrent à l'état de lambeaux assez considérables, suffisamment puissants pour frapper un observateur averti, lambeaux qui deviennent moins importants et s'étagent si l'on gravit et recoupe les montagnes dominant ce district. M. Boule, dans sa description géologique du Velay, avait montré cette disposition en gradins si caracté-

ristique des bassins tertiaires de l'Auvergne : disposition qu'il retrouvait dans le Velay. Les couches ne sont pas horizontales ; plongeant légèrement, elles suivent la pente des flancs montagneux sur lesquels elles s'étendent (cf. fig. 1.). M. Boule a montré pour le Velay, comme M. Michel Lévy pour la Limagne, que ces dépôts dessinaient « une sorte de synclinal à grand rayon de courbure », au fond accidenté par des parties surélevées se dressant au milieu des parties affaissées.

Les dépôts tertiaires, dans la région des Estreys, ne sont représentés que par des argiles sableuses bigarrées, passant de temps en temps à des marnes sableuses ou compactes. Bien qu'aucun relevé n'en ait été fait, on ne peut douter de la présence intercalaire, à différents niveaux, de lits de calcaires marneux. Ces lits se rencontrent à quelques kilomètres au sud, passant à un calcaire très dur. Mais, dans la région qui nous intéresse, c'est l'élément argilo-sableux qui domine, et, plus on se rapproche du Puy, plus on remarque diverses particularités qui sont absentes aux Estreys : couches variées fossilifères dont on constate aisément la superposition. De nombreux chercheurs locaux : Aymard et Bertrand de Doue, par exemple, avaient reconnu, dans toute la région du Puy, ces argiles et marnes bigarrées qui ont été désignées par eux sous l'étiquette : « Argiles et marnes sans fossiles », et que nous désignerons, avec M. Boule, par « argiles et marnes sableuses ». Elles furent décrites par Bertrand de Doue et placées par lui (classification adoptée par tous ses successeurs) à la base

de l'oligocène ; elles constituent les premiers dépôts dans tout le bassin du Puy, et il est facile de les repérer aux Estreys, car elles reposent sur le granite et sont recouvertes d'un manteau basaltique (fig 1 et fig. 2).

Sur la rive droite de la Borne, entaillé par cette rivière, cet horizon argileux affleure nettement et offre une coupe remarquable orientée vers le nord-est, en face de la source (fig. 2). C'est un lambeau d'argiles blanches, jaunes à reflets bleuâtres où le rouge prédomine, pour former les marnes rouges compactes de la base.

Ces dépôts versicolores ont conservé leurs colorations vives et toute leur fraîcheur, surtout à la partie inférieure. Ils prennent, au sommet, une allure blanchâtre et sableuse, et renferment à ce niveau, comme nous avons pu le constater, quelques grains de feldspath et de quartz. Ils reposent directement sur le granite, où ils atteignent 15 mètres environ d'épaisseur et qui ont résisté à la dénudation grâce au chapeau basaltique qui les recouvre parfaitement. Nous n'y avons rencontré aucun fossile, pas même des débris de corps organisés, malgré toute notre activité.

Si nous explorons le versant en face de ces couches, c'est-à-dire la crête qui domine la rive gauche de la Borne, nous voyons de nouveau apparaître ces formations tertiaires, constituant des escarpements plus considérables au-dessous des nappes basaltiques qu'elles supportent. Mais, là, ces dépôts sont moins nets, l'élément sableux domine ; le quartz, très répandu, s'y présente en gros grains, et ce n'est qu'après

avoir dépassé le village des Estreys, en gagnant Le Puy, que l'élément marneux réapparaît, pour faire place, par endroits, aux marnes bigarrées. Ces couches ne sont pas horizontales; elles s'inclinent toutes dans le même sens, en suivant les flancs montagneux.

C'est à la fin du miocène que de grands mouvements du sol ont transformé le Plateau Central, et l'activité volcanique, corrélative de ces mouvements orogéniques, date de la même époque. Elle s'est manifestée pendant toute la durée du Pliocène et une partie du Pleistocène.

Pendant le Pliocène inférieur et une partie du Pliocène moyen, les environs du Puy ont été tranquilles. Les cours d'eau dégradaient les hauteurs et esquisaient les vallées. A la fin du Pliocène moyen, les environs du Puy entraient en activité, et de nombreux cratères s'établissaient dans toute la région arrosée par les cours d'eau du Pliocène moyen. Les vallées furent couvertes de produits de projection : lapillis et cendres volcaniques se tassaient pour former des brèches considérables, découpées aujourd'hui en rochers pittoresques. Les éruptions du Pliocène moyen ne furent que le prélude de la grande poussée basaltique du Pliocène supérieur, et c'est par centaines que s'ouvrirent les bouches volcaniques dans tout le Velay. L'horizon des Estreys se rapporte à cette période, et les éruptions basaltiques qui ont contribué à sa topographie s'y sont poursuivies jusqu'au début du Pleistocène.

En même temps que s'effectuait le creusement de la vallée de la Borne, les coulées de laves marquaient

les diverses étapes de ce creusement, en formant, à diverses hauteurs, au-dessus du thalweg actuel, des plateformes ou terrasses. Mais celles-ci sont mal dessinées, surtout sur la rive droite de la rivière. Ces coulés représentent les « basaltes des pentes » qu'on retrouve dans toute la région, et qui peuvent appartenir aussi bien au Pliocène supérieur qu'au Pléistocène. Au-dessus du tunnel du chemin de fer de Saint-Vidal au Puy, on est en présence d'une nappe basaltique (basalte des plateaux) qu'on peut rapporter au Pliocène supérieur, même au début de cette période, car l'altitude de ces basaltes se tient aux environs de 800 mètres. Si l'on descend la pente de la crête volcanique, on suit le basalte des pentes qui est à une altitude inférieure assez variable.

Les basaltes du flanc gauche de la vallée de la Borne forment un placage descendant jusqu'à la côte 650 au niveau de la source. Ils reposent, ici, sur une couche de gros cailloux roulés (la plupart des basaltes roulés) ayant plusieurs mètres d'épaisseur. La Borne coule parmi ces blocs, et la source voisine sort au milieu d'eux.

Nous avons étudié la constitution de ces différents basaltes. Les basaltes des pentes ont les mêmes caractères pétrographiques que les basaltes du Pliocène supérieur. Comme ces derniers, ils sont généralement bleuâtres, rudes au toucher et renferment beaucoup de périclase, qui se présente de préférence en nodules. Pourtant, le périclase en grains isolés est à signaler. La fréquence des cristaux de pyroxène est également à noter. Nous ajouterons que nous avons rencontré de

nombreux échantillons de basalte vacuolaire, avec revêtement de limonite.

Ce qui rend toute étude stratigraphique difficile dans cette région, c'est qu'il y a, au nord-ouest du village des Estreys, une association des basaltes du Pliocène supérieur et des basaltes des pentes. Le flanc gauche de la Borne est couvert d'éboulis formidables. Des quartiers énormes, des masses importantes de basalte, mal retenues par le substratum des argiles et marnes oligocènes, se sont détachées des sommets de la montagne et encombrant les bas-fonds. Les basaltes des pentes appartiennent à cette époque de transition du Pliocène supérieur au Pleistocène. Nous ne trouvons pas, aux Estreys, de basaltes proprement pleistocènes, quoiqu'ils soient représentés au niveau de Saint-Vidal. Ces basaltes récents portent le nom de basaltes du fond des vallées, et se sont déposés le long de la vallée de la Borne, arrivant près du lit de la rivière qui a attaqué et creusé dans sa masse le sauvage défilé qui fait l'admiration des touristes.

Ces basaltes du fond des vallées s'arrêtent brusquement aux Estreys, à 200 mètres au nord-ouest de la source, et c'est là que cet étroit défilé prend fin.

A sa partie supérieure, le basalte se présente sous la forme d'une coulée scoriacée rougeâtre qu'on peut rattacher à un cône de scories dominant toute la région, atteignant vers les Estreys 840 mètres.

C'est le massif de scories connu dans le pays sous le nom de « Cave blanche ». Ces amas sont de forme plus ou moins arrondie, plus ou moins régulière ; ce sont des sortes de tumuli gigantesques marquant un

terme de dégradation d'anciens cônes volcaniques. Enfin, nous avons remarqué, au niveau du tunnel, parmi les basaltes, quelques débris de cendres.

Malgré sa faible superficie, cette région offre au géologue une multitude de problèmes intéressants et variés. Il n'est pas une montagne ou un vallon, dans les environs du Puy, qui ne méritent une étude spéciale au triple point de vue de la stratigraphie, de la minéralogie et de la paléontologie.

La situation géographique exacte de la source des Estreys est la suivantes ::

Latitude Nord	Longitude Est de Paris	Altitude
45°04,1	1°28,7	665 m.

En terminant ce chapitre, nous signalons ce que dit M. Baldit à ce sujet (1). La source froide des Estreys jaillit sur la rive gauche de la Borne, affluent de la Loire, au milieu d'alluvions modernes, après avoir traversé des marnes oligocènes (bassin lacustre tertiaire du Puy) ; basalte pliocène dans le voisinage. La source est dominée par une grande coulée basaltique quaternaire.

(1) Compte-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences n° 13 (30 Mars 1925) page 1027.

Fig 1. Course N.E.S.O.

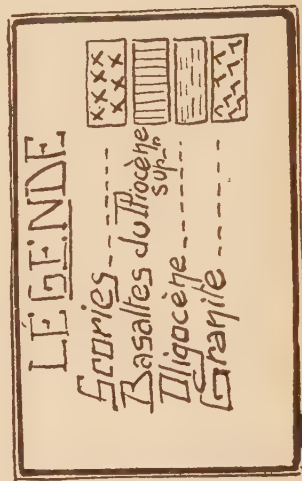
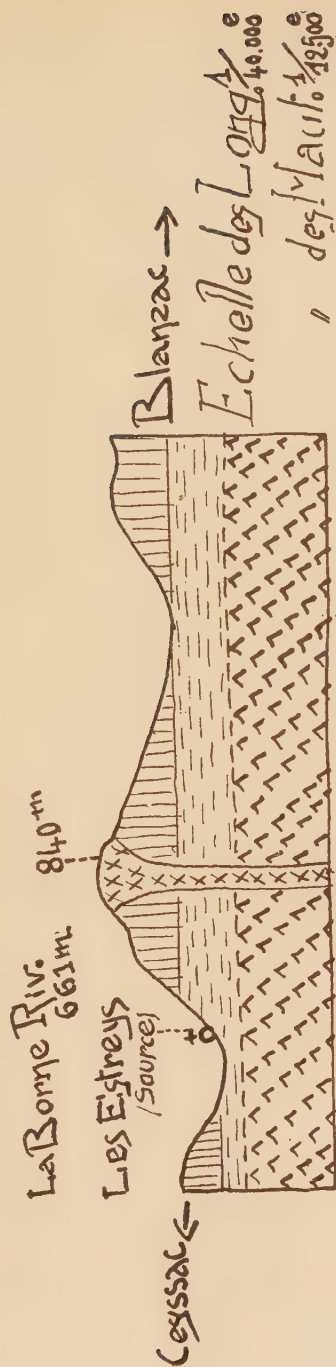
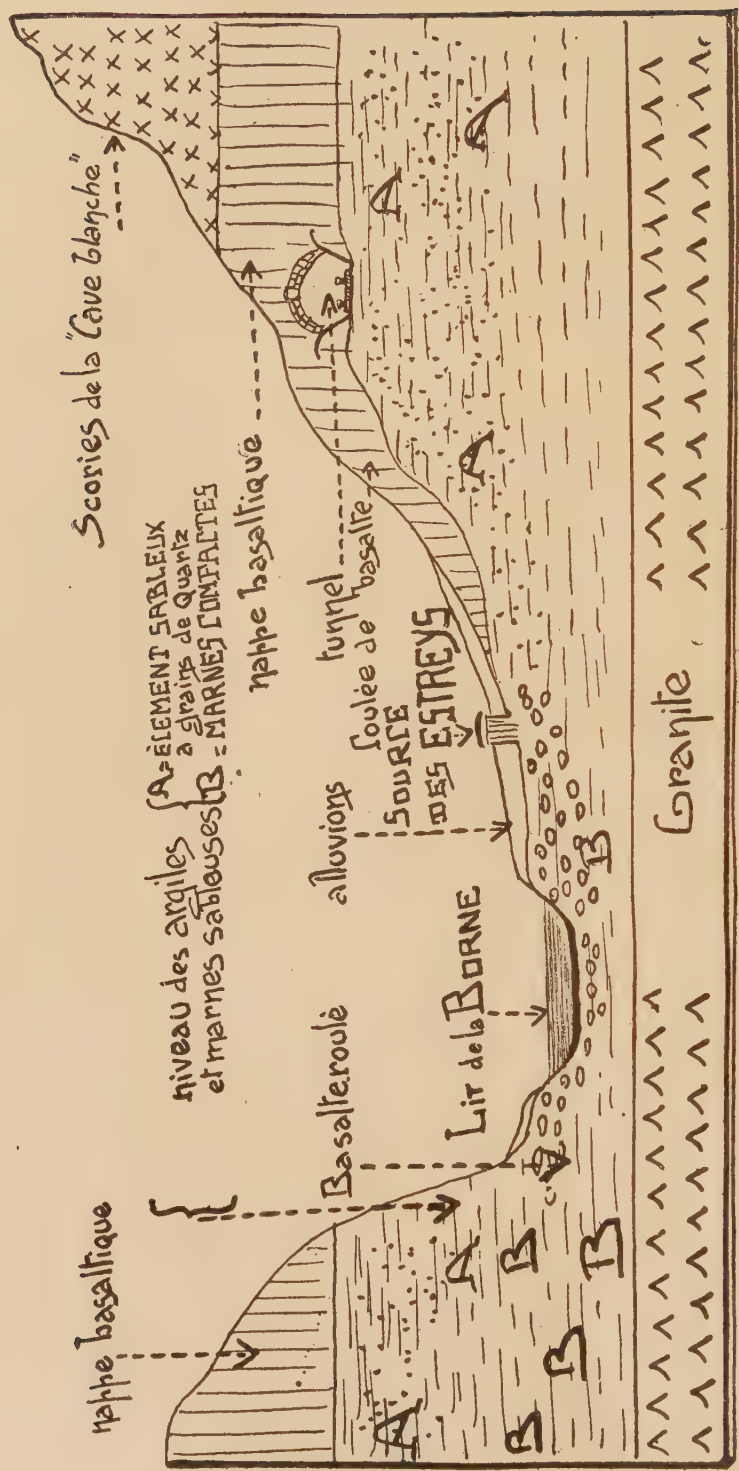
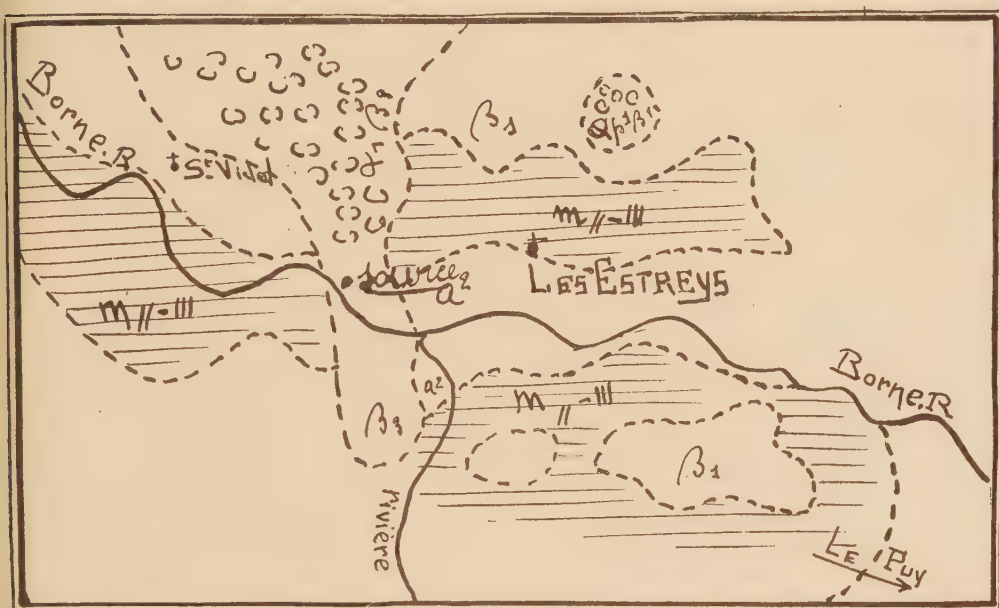


Fig 28 L'ouïe M.L.O.U.
au niveau de la source



CARTE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DES ESTREYS



a^2	alluvions modernes
m // - III	longrien inférieur
β_3	basalte quaternaire

basalte et Scories	β_1/β_3
Scories	β_3/β_1
basalte du Pliocène sup.	β_1

CHAPITRE II

Analyse chimique de l'eau minérale des Estreys.

On n'est pas bien d'accord sur l'époque exacte à laquelle furent faits les premiers travaux chimiques sur l'eau minérale des Estreys. Cependant, depuis de nombreuses années, la croyance populaire attribuait à cette eau des propriétés indéfinies ; les ouvrages d'hydrologie ne donnent que des analyses succinctes : « Eau minéralisée à 2 gr. 70 et chloro-bicarbonatée mixte (1) ». Sa radioactivité, mise en lumière ces temps derniers, donna à cette source un renouveau de popularité.

Il résulte de plusieurs essais et de plusieurs dosages faits par nous-mêmes, à des époques variées, sur des prélèvements différents, que la composition est constante. C'est ainsi que les résultats que nous donnons ont été rigoureusement revérifiés et n'ont été

(1) Précis d'Hydrologie, de Géologie et Mineralogie des professeurs JADIN et ASTRUC (2^e édition, Paris 1920, p. 341).

admis qu'après avoir refait les mêmes recherches trois ou quatre fois.

Nous exposerons les méthodes suivies et les résultats obtenus pour chacun des composants, puis nous condenserons, sous forme de tableaux, ces résultats.

Prélèvements. — L'eau a été prélevée dans des bouteilles de 1 litre, de verre non coloré, et dans des bonbonnes. Nous avons traité ces récipients suivant la méthode générale : lavage au permanganate, 20 centimètres cubes de solution saturée, et, après égouttage, par 10 centimètres cubes d'acide sulfurique pur. Après dix minutes de contact, rinçage à l'eau ordinaire jusqu'à cessation de toute acidité au papier de tournesol ; puis après, lavage à l'eau distillée. Les bouteilles ont été rincées deux ou trois fois avec l'eau de la source, au moment du prélèvement. Les bouchons, péalablement maintenus pendant une heure dans l'eau distillée bouillante, ont été lavés à l'eau de la source.

Les bouteilles ont été plongées dans le réservoir d'émergence de la source, à une certaine profondeur (égale distance de la surface et du fond). Ce réservoir d'émergence, creusé dans le sol, a, comme dimension, 0 m. 60 de long sur 0 m. 40 de large. Il existe tout autour de ce réservoir naturel principal tout un ensemble de points d'où l'eau s'écoule avec moins d'abondance. Nos prélèvements ont toujours été faits au même endroit. L'eau était, malgré les précautions prises, toujours chargée de sable et de matières terreuses tenus en suspension dans l'eau par le dégagement continu ou alternatif des gaz. Les prélèvements n'ont

jamais été opérés pendant une chute de pluie ; toutefois, certains d'entre eux ont été effectués en période pluvieuse (printemps 1925). L'eau avait, malgré cela, conservé sa limpidité, et sa composition chimique n'avait aucunement varié. Jamais de traces de nitrites ni de nitrates n'ont été constatées, pouvant nous permettre de croire à une pollution par infiltration. La température de l'eau à son point d'émergence restait aussi invariable, la température ambiante étant, certains jours, de ($-10^{\circ} - 5^{\circ} + 12^{\circ} + 15^{\circ}$).

Température. — Nous avons pris la température avec un thermomètre à mercure dont nous avons déterminé le zéro au préalable ; nous avons toujours trouvé une température constante égale à 17 degrés centigrades.

Caractères physiques de l'eau. — Elle est limpide, incolore, d'odeur nulle et de saveur piquante.

Conservation. — Contrairement à la croyance commune, l'eau des Estreys est de conservation parfaite quand elle a été prélevée d'une façon correcte, en flacons bien bouchés et couchés dans un endroit frais et à l'abri de la lumière ; elle conserve sa saveur et sa limpidité indéfiniment. Aucun dépôt ne se forme dans ces conditions.

Gaz dissous. — L'extraction des gaz dissous a été obtenue par l'ébullition. Ces gaz ont été recueillis sur la cuve à mercure, en opérant dans les conditions requises, dans une éprouvette graduée (éprouvette à gaz). Pour déterminer les proportions respectives d'acide carbonique (libre et CO' des bicarbonates),

d'oxygène et d'azote contenus dans le mélange, nous avons fait deux lectures dans les mêmes conditions de température et de pression : l'une après avoir absorbé CO^2 en agitant les gaz, en présence d'une solution concentrée de potasse ; l'autre après une nouvelle agitation avec une solution d'acide pyrogallique. Les gaz non absorbés étant constitués par de l'azote et aussi probablement d'autres gaz (argon, krypton, xénon, hélium, néon). Aucun des procédés employés ne nous ayant permis de constater la présence de l'hydrogène sulfuré.

Poids des différents gaz dissous dans un litre d'eau :

<i>Acide carbonique</i>	0 gr. 924
<i>Oxygène</i>	0 gr. 0217
<i>Azote et autres gaz exprimés en Az...</i>	0 gr. 0879

Pour la détermination de la quantité d'oxygène dissous, nous avons encore employé la Méthode d'Albert Lévy (transformation du protoxyde de fer en sesquioxyde dans des conditions déterminées) ; nous avons trouvé pour ce dosage un volume égale à 15 centimètres cubes d'oxygène dissous par litre, ce qui correspond à 0 gr. 0213 d'oxygène.

Acide carbonique. — Nous avons effectué un dosage plus précis, dosage pondéral par absorption par la potasse. Le prélèvement spécial de l'échantillon ayant été fait suivant les indications, en présence de chlorure de calcium et de chaux éteinte obtenue en suivant le conseil de Dienert (calcination du nitrate de chaux au rouge, puis traitement après refroidisse-

ment par la quantité d'eau juste suffisante, pour que l'hydrate soit sec).

Acide carbonique total..... 1 gr. 5290

Acide carbonique des carbonates neutres. — Nous avons employé la même méthode, sans précautions spéciales pour le prélèvement. Le même dispositif d'appareil nous a servi (entraînement de CO^2 par un courant d'air privé de ce gaz) ; mais, avant de relier le ballon à l'appareil, nous avons chassé l'acide carbonique libre ou l'acide carbonique des bicarbonates par ébullition prolongée. La nouvelle augmentation de poids des tubes à potasse correspond à l'acide carbonique des carbonates neutres.

Acide carbonique des carbonates neutres par litre :
0 gr. 4885

Hydrogène sulfuré. — L'hydrogène sulfuré est déjà reconnaissable à l'odeur particulière et désagréable qu'il communique à une eau ; l'odeur de l'eau des Estreys est nulle. Toutefois, nous avons procédé aux recherches suivantes, du reste sans résultat : ébullition de l'eau dans un ballon, en recevant les vapeurs sur un morceau de papier-filtre imprégné d'une solution potassique d'hydrate de plomb, d'un papier humide à l'acétate neutre de plomb. Cette recherche a été reprise en acidulant l'eau par quelques gouttes d' HCl . Enfin, nous avons ajouté à l'eau à laquelle nous avons ajouté quelques gouttes de lessive de soude, 1 à 2 centimètres cubes d'une solution de nitroprussiate de soude (solution récente) ; la coloration n'a pas changé.

Matières en suspension. — L'eau des Estreys contient toujours des matières en suspension provenant du bouillonnement provoqué par l'échappement des gaz à la source. Toutes les déterminations ont été faites après filtration sur papier Chardin répondant à tous les essais d'un papier-filtre parfait.

Poids des matières en suspension contenues dans un litre d'eau. — Différentes pesées après passage à l'étuve à 100° nous ont donné des poids oscillants entre 4 et 5 centigrammes de matières terreuses. Nous avons mis facilement en évidence des traces de silice dans ce résidu constitué par des matières étrangères.

Degrés hydrotimétriques. — Après vérification de la liqueur de savon, nous avons déterminé les trois degrés hydrotimétriques intéressants pour une eau minérale. L'eau ayant, au préalable, été diluée au cinquième avec de l'eau distillée.

1° Degré hydrotimétrique total.....	81
2° Degré hydrotimétrique (après précipitation par l'oxalate d'ammoniaque).....	40
3° Degré hydrotimétrique permanent.....	23

Résidus fixes ou extraits. — Nous avons opéré les différentes évaporations dans une capsule en platine tarée, d'une contenance de 125 centimètres cubes. Le résidu a été desséché dans une étuve réglée d'abord à 110°, puis à 180° ; chaque fois, nous avons vérifié si deux pesées consécutives ne donnaient lieu à aucune modification de poids.

Extrait à 110°..... 2 gr. 320

A 180°, les sels sont à l'état anhydre et les bicarbonates transformés en carbonates neutres.

Extrait à 180° 2 gr.185

Résidu au rouge. — Une partie des chlorures est volatilisée et tous les sels sont transformés en sels anhydres.

Résidu au rouge..... 1 gr. 972

Alcalinité. — L'alcalinité s'évalue en milligrammes de $\text{CO}^{\circ}\text{Ca}$ ou en centimètres cubes de $\text{SO}^{\text{H}}\text{H}^{\text{H}}$ décinormale pour 1.000 centimètres cubes d'eau. On la détermine par l'acide sulfurique N/10 en présence de l'oranger de méthyle. L'alcalinité totale comprend à la fois celle des bicarbonates alcalino-terreux, des bicarbonates alcalins, des silicates.

Alcalinité totale 218 cc. de $\text{SO}^{\text{H}}\text{H}^{\text{H}}$ N/10 par litre

Alcalinité permanente. 135 cc. de $\text{SO}^{\text{H}}\text{H}^{\text{H}}$ N/10 par litre
(après ébullition et filtration)

Alcalinité soluble..... 53 cc. de $\text{SO}^{\text{H}}\text{H}^{\text{H}}$ N/10 par litre

Dosage des sulfates. — Nous avons évaporé 2 litres d'eau, au bain-marie, à 100 centimètres cubes, dans un ballon à long col, en présence d'acide chlorhydrique (4 cc.), puis la prise d'essai claire a été introduite dans un verre de Bohême, puis chauffée à une température voisine de l'ébullition. La précipitation a été effectuée suivant la technique ordinaire. Le liquide clair a été décanté sur un filtre sans plis, en papier Berzélius(filtre sans cendres), sur lequel nous avons fait tomber la totalité du précipité de sulfate de baryum, puis les eaux de lavages chaudes, jusqu'à ce que ces dernières ne précipitent plus en liqueur nitri-

que par le nitrate d'argent (élimination complète du chlorure de baryum en excès. Le précipité, desséché à l'étuve à 100°, a été séparé du filtre, ce dernier d'abord a été calciné au moufle ; puis le précipité, le sulfate de baryum pesé et exprimé en SO^3 , nous a donné le résultat suivant :

SO^3 0 gr. 0310 par litre.

Recherche des phosphates. — Nous avons effectué cette recherche par la méthode de Denigès, modifiée par Florentin (*Annales de Chimie analytique*, 1921). Cette méthode très sensible, basée sur la coloration due à la production d'un complexe phospho-molybdique de coloration bleue en présence de traces de phosphates. Cette coloration apparaît en général avec son maximum d'intensité au bout de 10 minutes. Nous n'avons obtenu aucun résultat, aucune trace de coloration.

Azote nitreux. — Nous avons effectué une série de recherches avec les réactifs classiques très sensibles ; nous n'avons obtenu, du reste, aucun résultat positif ni même douteux. Recherches avec le réactif à l'iodure de zinc amidonné de Trommsdorff, le réactif de Griess au sulfate de métaphénylènediamine, réactif de Griess (acide sulfanilique et sulfate de naphtylamine) qui, en présence d'une goutte d'acide sulfurique et de traces d'acide azoteux, donne un composé diazoïque rouge, réaction sensible au millième de milligramme. En outre, nous avons procédé à cette recherche : avec le réactif à l'aniline acétique de Denigès, avec le réactif au rouge de toluylène de Rochaix. Enfin, nous avons

essayé la formation de tropéoline avec le réactif de Lombard. Nous n'avons obtenu aucun résultat positif.

Azote nitrique. — Cette recherche a été faite avec le réactif sulfo-phéniqué de Grandval et Lajoux. Nous avons fait évaporer au bain-marie 50 centimètres cubes d'eau dans une capsule tronconique en porcelaine. Après refroidissement, nous avons traité le résidu de l'évaporation par 1 centimètre cube de réactif sulfo-phéniqué. Après avoir mis le réactif en contact avec le résidu, à l'aide d'un petit agitateur de verre, nous avons ajouté lentement 10 centimètres cubes d'eau distillée, puis alcalinisé avec l'ammoniaque. Nous avons obtenu un liquide complètement incolore. Cette recherche, recommencée plusieurs fois et sur des prélèvements divers, a toujours été négative, même en variant les réactifs : emploi du réactif à la brucine en milieu sulfurique, emploi du sulfate de diphenylamine, du réactif à l'antipyrine de Denigès et du réactif hydrostrychnique du même auteur.

Azote ammoniacal. — Cette recherche, suivie du dosage s'il y a lieu, se divise en deux parties : 1° Obtention de l'ammoniaque libre ; 2° Décomposition des sels ammoniacaux.

Nous avons employé la méthode la plus précise, qui consiste à distiller 500 centimètres cubes d'eau dans l'appareil de Schloesing-Aubin, modifié par M. le Professeur Barral (réfrigérant en verre, l'étain retenant une partie de l'ammoniaque qu'il peut restituer dans des opérations ultérieures et fausser considérablement

les résultats). Le distillat est reçu par fraction de 50 centimètres cubes dans des tubes de Nessler, qui, comparés après traitement par le réactif spécifique de l'ammoniaque (réactif de Nessler) avec une échelle colorimétrique, servant à effectuer le dosage.

L'ammoniaque libre séparé, on opère le dosage de l'ammoniaque salin en ajoutant dans le ballon 5 grammes de magnésie calcinée.

En opérant de cette façon, nous avons constaté que l'eau des Estreys ne contient ni ammoniaque libre, ni ammoniaque combiné.

Matières organiques. — Nous avons employé la méthode conseillée par M. le Professeur Barral, méthode qui élimine complètement l'emploi de l'eau distillée, qui contient parfois plus de matières organiques que l'eau à analyser et donne des résultats erronés. Nous avons opéré sur 100 centimètres cubes et 200 centimètres cubes de l'eau à analyser et non sur 200 centimètres cubes de l'eau à analyser et 100 centimètres cubes d'eau distillée. Nous avons effectué les opérations relatives à ces dosages en milieu acide et en milieu alcalin. Ces deux recherches nous ont permis de constater que nous n'avions pas de matières organiques dans l'eau des Estreys.

Silice. — L'eau, filtrée au préalable, a été évaporée dans une capsule de platine au bain-marie. Le résidu de l'évaporation a été mis en contact avec un excès d'HCl concentré, puis évaporation nouvelle à sec au bain-marie. (Ces opérations ont pour but de rendre la silice insoluble et de transformer les carbonates en

chlorures.) Après avoir humecté ce nouveau résidu avec quelques gouttes d'HCl, nous avons ajouté une petite quantité d'eau distillée pour dissoudre les sels solubles ; dans le but d'agglomérer la silice insolubilisée, nous avons réchauffé quelques minutes au bain-marie. Le liquide a été filtré pour séparer la silice retenue sur un filtre Berzélius sans cendres. La silice retenue sur le filtre a été lavée à l'eau distillée jusqu'à ce que cette dernière passe neutre au tournesol. Ces eaux de lavage sont réunies au premier liquide filtré. Le filtre séché à l'étuve, calciné au moufle dans un petit creuset de platine taré et pesé après refroidissement dans un exsiccateur, nous a donné un accroissement de poids dû à la silice SiO_2 pour 10 litres d'eau évaporés.

$\text{SiO}_2 = 0 \text{ gr. } 5852$; SiO_2 , par litre, = $0 \text{ gr. } 05852$

Moyen de contrôle. — Pour nous assurer que nous avions bien de la silice pure, nous l'avons volatilisée à l'état de fluorure de silicium (action du fluorure d'ammonium et de SO_3H pur) par calcination au four à moufle, après avoir chauffé au bain de sable pour chasser l'excès d'acide ; après dessiccation, nous n'avons eu aucun résidu.

Fer. — L'absence de nitrates dans cette eau nous a libéré du souci de l'attaque de la capsule de platine à la fin de l'opération. Nous avons repris le liquide filtré et tiède de l'opération précédente et, comme moyen de contrôle, nous y avons fait passer un courant très lent d'hydrogène sulfuré ; aucun dépôt ne s'est formé, même après plusieurs heures. Le liquide a été filtré

une deuxième fois, puis porté à l'ébullition pour chasser l'hydrogène sulfuré.

Nous avons ajouté 1 à 2 centimètres cubes de NO^{H} pour transformer les sels ferreux en sels ferriques. Après une ébullition de quelques minutes, nous avons ajouté du chlorhydrate d'ammoniaque et de l'ammoniaque en léger excès et en chauffant au bain-marie, nous avons obtenu un très léger précipité, constitué surtout par de la chaux et de la magnésie, car, en essayant une seconde précipitation, après avoir dissous ce premier précipité avec un peu d' HCl dilué, nous n'avons obtenu qu'un très léger louche.

Nous avons alors essayé un dosage colorimétrique, la méthode au sulfocyanure nous permettant d'arriver à évaluer un millième de milligramme de fer dans la prises d'essai. Dosage par comparaison colorimétrique, après avoir peroxydé le fer de l'eau par l'acide nitrique et fait agir le sulfocyanure de potassium ; le sulfocyanure ferrique qui se forme est dissous dans l'éther et la coloration rouge est évaluée par colorimétrie. Selon les indications, un litre d'eau réservé à ce dosage a été prélevé dans un flacon contenant 5 centimètres cubes d' HCl .

Nous avons trouvé par cette méthode 20 *millièmes de milligrammes* de fer par litre.

Alumine. — L'alumine est précipitée en même temps que le fer ; le précipité, infiniment ténu, pesé après calcination au moufle, nous a donné 5 milligrammes 2, pour 10 litres d'eau. Ce qui nous permet d'affirmer que cette eau contient des traces d'alumine (un demi-milligramme par litre environ).

Dosage de la chaux. — Un accident de laboratoire ayant provoqué la perte partielle du produit provenant de l'évaporation de dix litres d'eau, nous avons procédé à une nouvelle évaporation de vingt litres d'eau dans une capsule en quartz. Nous avons éliminé la silice, le fer et l'alumine, et nous avons effectué le dosage de la chaux sur une partie de la liqueur ; le volume connu nous permettait de déduire facilement la quantité de chaux par litre. La méthode employée est la méthode générale : précipitation de la chaux dans la liqueur ammoniacale en présence de chlorhydrate d'ammoniaque (pour éviter la précipitation des sels de magnésie), par l'oxalate d'ammoniaque à l'ébullition.

La précipitation terminée, nous avons abandonné au repos douze heures, puis décanté et reçu le précipité sur un filtre sans cendres. Après lavage et dessiccation à l'étuve, nous avons calciné au moufle dans une capsule de platine tarée, puis nous avons transformé ce produit composé de chaux et de carbonate de chaux en sulfate de chaux. SO_4Ca .

En rapportant au litre, nous avons trouvée :

Chaux : $\text{CaO} = 0 \text{ gr. } 2149$.

Magnésie. — Le dosage a été effectué sur le résidu de l'évaporation de la liqueur précédente, dont nous avons éliminé la chaux. La liqueur, ainsi que les eaux de lavage du précipité d'oxalate de chaux, ont été évaporés à sec au bain-marie, dans une capsule de platine ; le résidu a été desséché à l'étuve à 180° , puis calciné modérément et avec précaution pour chasser

les sels ammoniacaux dans lesquels le phosphate ammoniaco-magnésien est un peu soluble. Le résidu a été dissous dans l'eau chlorhydrique au 1/10^e et la magnésie précipitée, après avoir neutralisé par l'ammoniaque, à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien par le chlorure d'ammonium et le phosphate de soude en solution saturée. Après un repos de 24 heures, nous avons décanté, filtré, lavé et transformé le phosphate en pyrophosphate de magnésie.

Après transformation, le poids de la magnésie rapporté au litre est de : 0 gr. 134.

Chlorures alcalins. — Sur une nouvelle prise d'essai (évaporation puis élimination de la silice), nous avons transformé les sulfates en chlorures en les précipitant en liqueur chlorhydrique à l'aide d'un léger excès d'une solution saturée de Cl^lBa. Nous avons évaporé à sec le liquide séparé du sulfate de baryte et nous avons précipité la magnésie en faisant bouillir le résidu dissous dans un peu d'eau distillée chaude avec du lait de chaux. Après filtration et lavage dans le liquide filtré, nous avons traité par du carbonate d'ammoniaque et quelques gouttes d'une solution saturée d'oxalate d'ammoniaque pour précipiter l'excès de chlorure de baryum et les sels de chaux par ébullition. Le liquide clair, débarrassé par ces divers traitements de l'acide sulfurique, de la chaux et de la presque totalité de la magnésie, a été évaporé une seconde fois, puis repris par un peu d'eau distillée et 2 centimètres cubes de lait de chaux pour précipiter entièrement la magnésie; un nouveau traitement par le carbonate d'ammoniaque et quelques gouttes de la

solution saturée d'oxalate d'ammoniaque, après ébullition, nous donnait la certitude d'avoir éliminé complètement la magnésie.

Nous avons évaporé à sec au bain-marie, dans une capsule de platine, puis desséché à l'étuve à 180° et chauffé au moufle avec précaution pour chasser tous les sels ammoniacaux. La calcination pouvant produire des carbonates alcalins, nous avons dissous le résidu dans une petite quantité d'eau distillée additionnée de quelques gouttes d'HCl. Après évaporation du bain-marie et calcination légère, puis refroidissement, nous avons trouvé, par litre, 1 gr. 4718 de chlorures alcalins par litre.

Lithine. — Nous avons effectué cette recherche sur une partie du résidu précédent, en le traitant par l'alcool absolu et chaud ; cet alcool, examiné au spectroscope, ne donne pas la raie rouge caractéristique du lithium après de nombreux essais.

Potasse. — Pour effectuer ce dosage, nous avons transformé la majeure partie des chlorures alcalins en perchlorates, après avoir évaporé dans une capsule tarée en porcelaine ; au résidu, nous avons ajouté un excès d'acide perchlorique au cinquième en volume. L'acide en excès a été chassé en chauffant au bain de sable jusqu'à cessation des vapeurs blanches. Après refroidissement, les perchlorates obtenus sont traités à plusieurs reprises par l'alcool à 95° saturé de ClOK et le perchlorate de potasse insoluble dans ces conditions, séparé par filtration, lavé à l'alcool saturé de perchlorate de potasse, puis dissous dans

une petite quantité d'eau distillée chaude et recueilli dans la capsule tarée, après évaporation au bain-marie et dessiccation à l'étuve vers 150°, nous avons pesé puis ramené au litre et transformé en K²O.

La totalité de potasse par litre = 0,0561, en exprimant en chlorure KCl = 0,0883.

Soude. — Nous avons effectué ce dosage indirectement, en retranchant du poids total des chlorures alcalins le poids du chlorure de potassium contenu dans le même volume d'eau.

NaCl par litre = 1 gr. 3835, d'où Na²O = 0,7331 p. 1.000.

Recherche de l'iode. — Nous avons tenu à faire cette recherche sur 5 litres d'eau réduits à 200 centimètres cubes par évaporation. Cette concentration étant alcaline, nous l'avons introduite dans une boule à décantation en ajoutant quelques gouttes d'acide sulfurique concentré, saturé de vapeurs nitreuses, que nous avons préparé exprès pour cette recherche ; puis, nous avons ajouté 10 centimètres cubes de chloroforme. Après avoir agité vigoureusement à plusieurs reprises et laissé déposer, nous avons obtenu un chloroforme incolore sans aucune trace de violet, ce qui nous permet de conclure que l'eau ne renferme pas d'iode.

Nous avons repris ultérieurement, sans résultat positif, cette recherche sur le produit de l'évaporation de 10 litres d'eau.

Brome. — La recherche et le dosage ont été effectués après la recherche de l'iode et sur le même liquide. Nous l'avons transvasé dans un matras à long

col, puis nous avons ajouté 5 centimètres cubes d'acide sulfurique au demi. Après avoir étiré le col du matras au chalumeau et l'avoir fermé à la lampe, nous avons chauffé demi-heure à l'autoclave à 110°. Après refroidissement, nous avons transvasé le contenu du ballon dans une boule à décantation ; le brome, mis en liberté, a été épuisé par le chloroforme que nous avons recueilli sur un filtre mouillé. Après lavage sur le filtre à l'eau distillée froide, pour éliminer l'acide qui aurait pu être entraîné, le chloroforme a été introduit dans une fiole bouchée à l'émeri, contenant un peu d'une solution aqueuse et récente d'iodure de potassium, le filtre a été lavé avec 30 centimètres cubes d'une solution de bicarbonate de soude à 0 gr 5 %. Le brome libérant une quantité correspondante d'iode, nous avons dosé ce dernier avec une solution N/100 d'hyposulfite. La quantité de brome ramenée au litre est de : 0 gr. 004.

Dosage global des chlorures et des bromures. — Nous avons transformé en chlorure et bromure d'argent ; nous avons trouvé un poids de 1 gr. 7554 pour 1.000 centimètres cubes d'eau (1 gr. 7554 de chlorure et bromure d'argent).

Recherche et dosage du manganèse. — La manganèse ne se trouve jamais qu'en très faible quantité dans les eaux minérales. Pour le rechercher et le doser, nous avons employé la méthode indiquée par G. Bertrand. Evaporation d'un litre d'eau en présence d'une quantité d'acide sulfurique suffisante pour éliminer les chlorures. L'excès d'acide est vaporisé au

bain de sable et le résidu calciné au moufle ; on dissout dans 10 centimètres cubes d'acide nitrique préalablement étendu de trois fois son volume d'eau. On transforme ensuite le sel de manganèse en permanganate en ajoutant 5 gouttes de NO^3Ag à 10 %, 0 gr. 25 de persulfate de potassium, et on chauffe jusqu'à décomposition de l'excès de persulfate. Pour doser le manganèse, nous avons opéré, dans les mêmes conditions, avec des solutions très étendues de manganèse contenant des quantités croissantes de sulfate de manganèse, et nous avons comparé au colorimètre les teintes obtenues avec celles fournies avec l'eau des Estreys.

Deux dosages sur des prélèvements différents nous ont donné 24 millièmes et 25 millièmes de milligrammes par litre.

Recherche et dosage de l'arsenic. — Nous avons employé la méthode de Cribier, mise au point pour la recherche et le dosage de l'arsenic dans les eaux minérales par Delépine et Léonardon. Cette méthode présente l'avantage de n'opérer que sur une faible quantité d'eau.

Cette méthode repose en principe sur l'action de l'hydrogène arsénié vis-à-vis d'un papier imprégné de chlorure mercurique, la longueur et l'intensité de la tache produite étant fonction de la quantité d'arsenic contenue dans la substance soumise à l'analyse. Il nous semble utile de rappeler et de développer un peu cette méthode nouvelle. Elle consiste à :

1° Obtenir une coloration *stable* sur le papier au sublimé ;

2° Avoir un réactif *spécifique* de l'arsenic en éliminant toute cause d'erreur due au dégagement des hydrogènes sulfuré et phosphoré ;

3° Doser *exactement* l'arsenic sous quelque forme qu'il se trouve dans le produit à analyser.

Pour rendre stable la coloration produite par l'hydrogène arsénié, on se sert d'une solution d'iodure de potassium qui agit à la façon d'un *viro-fixateur* employé en photographie. Par simple immersion du papier dans une solution d'iodure de potassium à 10 %, la coloration, de jaune qu'elle était, devient brun foncé. La réaction est ainsi manifestée d'une façon intense et sa sensibilité se trouve en même temps considérablement augmentée par la mise en évidence de très petites quantités du composé arsénio-mercureux primitif, trop peu colorées pour être directement perceptibles : pour des quantités d'arsenic inférieures à un millième de milligramme, on ne peut pratiquement percevoir aucune teinte jaune, tandis que l'action de l'iodure révèle sur la bande des traces infiniment plus faibles ; au delà de un dix-millième de milligramme, sous forme d'une coloration brun orangé très nette. Mais le fait important qui donne au traitement par l'iodure son principal intérêt pratique, c'est que, après lavage à l'eau et séchage, la coloration brune obtenue est d'une stabilité remarquable : ni la lumière, ni l'humidité n'exercent sur elle d'action sensible, et des bandes arséniées ainsi développées peuvent se conserver plusieurs mois. L'oxydation préalable de la solution ou de l'eau à examiner, facile à réaliser instantanément avec quelques gouttes d'une

solution de permanganate de potassium, dont l'excès est détruit ensuite par de l'eau oxygénée, permet d'éliminer sûrement toute possibilité de dégagement d'hydrogène sulfuré ou phosphoré par l'action du permanganate en milieu sulfurique ; les composés d'oxydation inférieure du soufre et du phosphore sont en effet transformés en sulfates et en phosphates non réductibles à froid par l'hydrogène naissant, tandis que l'arsenic ou l'acide arsénieux sont transformés en acide arsénique qui, lui, est parfaitement réductible en hydrogène arsénié.

L'appareil que nous avons employé est celui dont s'est servi Cribier en suivant sa méthode adaptée à l'analyse des eaux par Delépine et Léonardon.

Nous avons placé 50 centimètres cubes d'eau minérale dans le flacon ; on les additionne de 12 gr. d'acide sulfurique pur ; on complète le volume à 75 centimètres cubes avec de l'eau distillée pure. Puis, par immersion du flacon dans un cristallisoir rempli d'eau, on laisse refroidir le liquide jusqu'à 15°. On ajoute ensuite quelques gouttes d'une solution de permanganate de potassium au millième jusqu'à légère coloration rose, puis on détruit l'excès de permanganate par une goutte d'eau oxygénée à un volume. On introduit alors 8 gr. de zinc pur en lames et bouche rapidement le flacon avec le bouchon garni à l'avance du papier au chlorure mercurique.

Le dégagement est abandonné à lui-même pendant six heures, en ayant soin d'immerger le flacon dans un cristallisoir rempli d'eau que l'on renouvelle de temps en temps, de façon à maintenir à 15° la tempé-

rature. Au bout de six heures, le papier est extrait et viré à l'iodure de potassium. Après un temps convenable d'immersion, le papier est lavé plusieurs fois à l'eau distillée, puis séché. Il ne manque plus qu'à comparer à l'échelle-étalon.

Selon les recommandations de Léonardon et Delépine, nous avons fait cinq dosages consécutifs ; nous avons soigneusement vérifié tous nos réactifs en faisant deux opérations de contrôle (opérations à blanc) qui nous ont confirmé leur pureté.

Les résultats trouvés nous permettent d'affirmer que la quantité d'arsenic contenue dans l'eau des Estreys varie entre six et sept centièmes de milligrammes par litre. La question de la recherche de l'arsenic dans le dépôt ne se posait pas, attendu que l'eau étudiée est de conservation parfaite, et que, d'autre part, nous avons toujours opéré sur des prélèvements récents.

Recherche du bore. — Nous l'avons recherché dans une solution très concentrée provenant de l'évaporation de 10 litres d'eau dans une capsule en quartz ; nous avons évaporé à siccité dans une capsule de platine et nous avons effectué la recherche en essayant de former du borate de méthyle volatil, qui donne une coloration vert émeraude en brûlant. Cette recherche a été négative.

Pour établir la composition synthétique d'une eau minérale, on suit la règle suivante, qui est en harmonie avec les lois de la thermo-chimie.

On admet que les bases les plus fortes (soude, potasse, lithine, chaux, magnésie) sont unies aux acides les plus énergiques (acide sulfurique, acide chlorhydrique). Le surplus des bases fortes, aussi bien que l'oxyde de manganèse et le protoxyde de fer, doit exister dans les eaux en général, sous forme de bicarbonates. En outre, en raison de certaines considérations géologiques sur l'origine des sources, on compte d'abord la soude en chlorure et la chaux en sulfate ou en carbonate.

Contrôle de l'analyse chimique. — Il est très facile ; il consiste à totaliser les bases et les acides, et à retrancher l'eau provenant de la combinaison des hydracides et de l'hydrogène sulfuré. (Cette dernière partie ne nous intéresse pas.) Le poids ainsi obtenu doit être sensiblement le même que celui de l'extrait sec correspondant au même volume d'eau. Toutefois, pendant l'évaporation et le chauffage du résidu à 180°, il peut y avoir une perte de Cl ou de CO² par suite de la décomposition partielle du chlorure et du carbonate de magnésium, lorsque l'eau contient ces sels en proportion notable.

Nous trouvons donc :

Extrait à 110°.....	2 gr. 320
Total des bases et des acides.....	2 gr. 2931
Extrait à 180°.....	2 gr. 185

Nous constatons donc par ce moyen que nos résultats sont près des résultats théoriques.

RÉSULTATS DE L'ANALYSE CHIMIQUE

	En grammes par litre.
Acide carbonique (CO^2) des carbonates neutres.....	0 gr. 4885
Chlore (Cl)	0 gr. 5730
Brome (Br).....	0 gr. 0040
Acide sulfurique (SO^3).....	0 gr. 0310
Silice (Si O^2).....	0 gr. 0585
Soude (Na^2O).....	0 gr. 7331
Potasse (K^2O).....	0 gr. 0561
Chaux (Ca O).....	0 gr. 2149
Magnésie (Mg O).....	0 gr. 1340
Alumine, oxyde de fer, oxyde de manganèse, lithine.....	Traces.
Arsenic	Traces.
Matières organiques	Néant.
Azote (nitreux, nitrique, ammoniacal)	Néant.
Acide phosphorique, iode, acide borique, acide sulfhydr. .	Néant.
	2 gr. 2931
Acide carbonique en sus des carbonates neutres	1 gr. 0405
Total.....	3 gr. 3336
Extrait à 110°.....	2 gr. 320
Extrait à 180°.....	2 gr. 185
Résidu au rouge.....	1 gr. 972

Matières en suspension : 0 gr. 04 à 0 gr. 05.

Degré hydrotimétrique total : 81.

Degré hydrotimétrique après ébullition (permanent) : 23.

Degré hydrotimétrique après traitement par l'oxalate d'ammon. : 40.

Alcalinité totale au méthylorange correspond à 218^{cc} de soude déci-normale.

Alcalinité soluble au méthylorange correspond à 53^{cc} de soude déci-normale.

Chlorures et bromures (en sels d'argent) : 1 gr. 7554.

Chlorures alcalins : 1 gr. 4718.

ANALYSE CHIMIQUE

(Hypothèse de reconstitution)

Chlorure de potassium (K Cl)	0 gr. 0887
Chlorure de sodium (Na Cl).....	0 gr. 8740
Bromure de sodium (Na Br).....	0 gr. 0051
Sulfate de sodium ($\text{Na}^2 \text{SO}^4$)	0 gr. 0536
Bicarbonate de sodium exprimé en carb. neutre ($\text{Na}^2 \text{CO}^3$)	0 gr. 4256
Bicarbonate de calcium exprimé en carb. neutre (Ca CO^3)	0 gr. 3835
Bicarbonate de magnésium (Mg CO^3)	0 gr. 2806
Silice (Si O^2)	0 gr. 0585
Alumine, oxyde de fer, oxyde de manganèse.....	Traces.
Arsenic	Traces.
	2 gr. 1706
Acide carbonique (CO^2) en sus des carbonates neutres...	1 gr. 0405
	3 gr. 2111

Gaz dissous :

Gaz carbonique.....	0 gr. 924
Oxygène	0 gr. 0217
Azote et autres gaz exprimés en azote	0 gr. 0879

CHAPITRE III

Analyse des gaz d'émission.

La quantité de gaz émis spontanément par la source est d'environ 2 litres 500 à 3 litres par minute. On ne peut fixer une moyenne, car cette émission est tout à fait irrégulière ; elle peut être continue pendant trois à quatre minutes et s'arrêter complètement ou partiellement pendant un nombre de secondes variable (10 secondes, 14 secondes, 25 secondes, etc...).

Nous avons recueilli ces gaz avec un appareil classique : gaz captés avec un large entonnoir et reçus dans un flacon, par déplacement de l'eau de la source avec laquelle il a été complètement rempli au préalable. Le bouchon de caoutchouc, soigneusement fixé et bouchant d'une façon très hermétique, est percé de deux ouvertures permettant l'introduction de deux tubes à robinet : l'un pénétrant jusqu'au fond du flacon, l'autre arrivant simplement au niveau interne du bouchon. Le premier tube, à robinet courbé à angle droit à l'extérieur, permet un maniement plus facile et a été relié à l'entonnoir par un tube de caoutchouc.

Ce prélèvement a été fait dans des conditions telles qu'aucune trace d'air ne reste à l'intérieur de l'appareil et puisse troubler les résultats.

Au laboratoire, nous avons recueilli une partie de ces gaz sur la cuve à mercure, dans un tube à gaz. L'analyse a été faite en absorbant le CO^2 par une solution récente de soude caustique et l'oxygène par une solution d'acide pyrogallique et de soude caustique. Pour toutes ces déterminations, nous avons ramené les résultats à zéro et à 760 millimètres de mercure.

Nous avons ainsi trouvé :

Composition centésimale en volume

Gaz carbonique.....	61,5 %
Oxygène	0,60 %
Azote et autres gaz....	37,90 %

M. Lepape (1), directeur de l'Institut de Climatologie et d'Hydrologie du Collège de France, a effectué une analyse complète de ces gaz, et a trouvé les résultats suivants :

Composition centésimale en volume

Anhydride carbonique	61,53
Oxygène	0,61
Gaz combustibles	traces
Azote	37,44
Argon avec traces de Krypton et de Xénon.	0,29
Helium avec traces de Néon.....	0,13

(1) Compte-rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences, n° 13, 30 Mars 1925, page 1027, *A. Baldit*. — Sur un alignement des sources radio-actives dans la région du Velay (Haute-Loire). — Note présentée par M. de BROGLIE.

CHAPITRE IV

Analyse physique de l'eau des Estreys.

La partie la plus importante de cette analyse physique de l'eau minérale des Estreys consiste dans la détermination de la radioactivité. C'est M. le Professeur agrégé Nogier qui en fit le premier la détermination exacte en millimicrocuries, sur la demande de M. Baldit, du Puy. Cette première analyse date de juin 1921, et le résultat publié attira l'attention sur la source des Estreys. Cette radioactivité est sujette à de petites variations; l'analyse faite, en juin 1921, par M. Nogier révélait une radioactivité égale à 34 millimicrocuries. Le 12 novembre 1924, au laboratoire Curie, de l'Institut du Radium, on trouvait un chiffre un peu plus faible : 33 millimicrocuries. Enfin, le 10 mai dernier. M. Nogier a bien voulu reprendre cette détermination sur de l'eau que nous avons prélevée nous-même aux Estreys, dans les conditions requises, pour éliminer les nombreuses causes d'erreur ; le chiffre trouvé est cette fois un peu plus élevé et égal à 36,51 millimicrocuries par litre.

Nous pouvons voir, d'après le schéma publié, que l'eau des Estreys occupe une place intéressante parmi les sources radioactives du monde, et qu'elle arrive au troisième rang des sources françaises, après la source des Romains de Sail-les-Bains, dont la radioactivité, égale à 67,09 millimicrocuries, a été découverte par M. Nogier. Vient ensuite l'eau de la source Lepape, de Bagnères-de-Luchon (radioactivité = 41,5).

Température de l'eau à la source... 17 centigrades.

P H de l'eau (méthode colorimétrique). 6,4

— (méthode potentiométrique). 6,45

Indice de réfraction..... 1,3334 à 16°5

Point cryoscopique..... 0°16

Résistivité électrique..... 300 Ohms à 20°

Débit de la source : 25 litres à la minute. Par captage, on pourra l'augmenter dans une notable proportion.

Lorsqu'on veut éviter des erreurs importantes dans la mesure de la radioactivité faite sur de l'eau *transportée*, il faut, ainsi que M. Nogier nous l'a fait remarquer, prendre les précautions suivantes :

Le prélèvement à la source doit être fait dans des bouteilles très propres, rincées préalablement à l'eau de la source. Quand l'eau, comme aux Estreys, sourd dans un petit bassin, on immerge la bouteille dans l'eau pour le prélèvement et on la bouche sous l'eau.

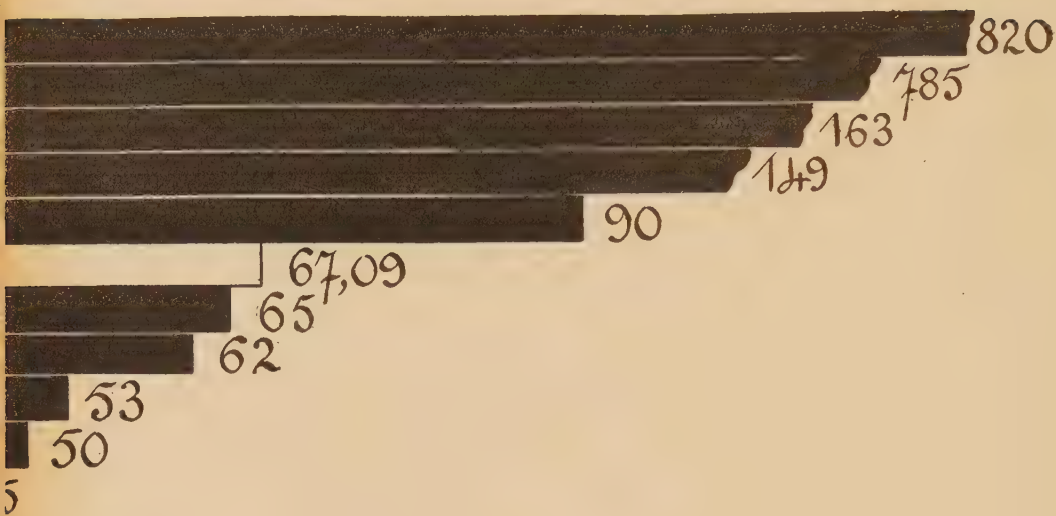
Comme l'émanation s'enfuit, même par des orifices microscopiques, il faut veiller à une étanchéité soignée des bouteilles. Pour cela, le bouchon doit être d'excellent liège ; il doit être ficelé et cacheté à la cire.

Pour cette détermination, comme pour toutes les autres déterminations physiques, nous avons prélevé l'eau dans des bouteilles de un litre paraffinées intérieurement. Nous n'avions pas à craindre ainsi une dissolution par l'eau des éléments constituant le verre des bouteilles.

RADIOACTIVITE DES SOURCES T

S ^t JOACHIMSTHAL		
BRAMBACH (SAXE)		
S ^t JOACHIMSTHAL (S. CONCORDE)		
ISCHIA (ITALIE)		
YONOKUBO (JAPON)		
SAIL-LES-BAINS (LOIRE)	SOURCE DES ROMAINS	
AGUAS LEREZ (ESPAGNE)		
GASTEIN (GRADENBACKER)		
id (S. ELISABETH)		
BADEN BADEN (BADE)		
BAGNERES DE LUCHON	S. LEPAPE	41;
LES ESTREYS (H ^e LOIRE)		34
LUSO (PORTUGAL)		30,5
COLORADO (AMERIQUE)		30,5
KREUZNACH (PRUSSE)		28,72
KARLSBAD (BOHÊME)		28,5
BOU HANIFRA (ORAN)	S. DU PONT N° 1	27
HAMMAM BOU HADJAR (ORAN)	S. LOUISE N° 2	24,95
SAGADAS		22,8
LA BOURBOULE (PUY-DE-DÔME)	S. CHOUSSY	20,5
DISENTIS (SUISSE)		19,1
MARIENBAD (BOHÊME)		18,28
VERNET	S. PROVIDENCE	15,5
ROYAT (PUY-DE-DÔME)	S. S ^t MARTIN	14,5
PLOMBIERES (VOSGES)	S. LAMBINET	14,1
GRISY	S. N° 2	13,6
LA CHALDETTE		13,15
BAIN DE LA REINE (ORAN)		13,1
BAINS-LES-BAINS (VOSGES)	S. S ^t COLOMBAN	12,91
SAIL-LES-BAINS (LOIRE)	S. DU HAMEL	11,5
S ^t AMAND (NORD)	S. VAUBAN	10,1
BUSSANG (VOSGES)	S. SALMADE	9,5

HERMALES FRANCAISES ET ETRANGERES



LA RADIOACTIVITE EST EXPRIMEE EN MILLIMICROCURIES
PAR LITRE A L'EMERGENCE

☐ SOURCES THERMALES FRANCAISES

☒ id ETRANGERES

CHAPITRE V

Analyse bactériologique.

Présence d'environ 50 colibacilles par litre.

Colonies bactériennes dans 1 cc. d'eau.. 610

dont :

Liquéfiants chromogènes..... 5

— non chromogènes..... 5

Non liquéfiants chromogènes..... 0

— non chromogènes..... 600

Il n'y a pas lieu d'être surpris que l'analyse bactériologique révèle la présence de quelques colonies bactériennes, étant donné la situation et la forme de la source, où tout le monde, y compris les animaux, vient puiser librement, et il est bien probable qu'avec un captage convenable, la source aurait, au point de vue bactériologique, le caractère d'une eau très pure.

CONCLUSIONS

L'eau de la source des Estreys, près du Puy-en-Velay (Haute-Loire), est une eau minérale naturelle de thermalité faible (17°), dont la radioactivité importante constitue le principal intérêt.

La radioactivité de cette eau, signalée pour la première fois par M. A. Baldit (1910), a fait l'objet de mesures précises en millimicrocuries par M. le Professeur agrégé Nogier. La valeur de cette radioactivité (34 millimicrocuries par litre d'eau à l'émergence) classe cette eau au *troisième rang* des sources radioactives françaises.

L'étude chimique, physique, bactériologique de cette eau, que nous avons faite, permet de classer les Estreys parmi les eaux chlorurées et bicarbonatées sodiques, calciques et magnésiennes, riche à la fois en acide carbonique et en azote.

La présence de colibacilles (50 au litre) et de bacilles divers (610 au centimètre cube) indique qu'il est indispensable de procéder à un captage très soigné de la source avant de livrer l'eau à la consommation.

Vu :	LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,
LE DOYEN,	Et. BARRAL.
JEAN LÉPINE.	

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 22 Mai 1925

LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
CAVALIER.

BIBLIOGRAPHIE

- A. GUILLERD. — Notions d'hydrologie appliquées à l'hygiène. Bactériologie des eaux.
- F. TOUPLAIN. — Analyse générale des eaux.
- VILLIERS-COLIN et FAYOLLE. — Traité d'analyses alimentaires.
- F. DIENERT. — Eaux douces et eaux minérales.
- JADIN et ASTRUC. — Précis d'hydrologie, de minéralogie et de géologie (Bibliothèque de l'Etudiant en Pharmacie, 2^e édition, Paris, 1922).
- Bulletin des Sciences pharmacologiques*, avril 1924. — Sur le dosage de l'arsenic dans les eaux minérales (Delépine et Léonardon).
- A. KLING. — Méthodes actuelles d'expertises employées au Laboratoire municipal de la ville de Paris.
- LOMBARD. — *Bulletin de la Société Chimique de France*, 4^e série, t. XIII, p. 304, année 1913.
- DENIGÈS et G. FLORENTIN. — Méthode de recherche des phosphates dans les eaux minérales. (*Annales de Chimie analytique*, 1921, p. 295.)
- Ad. CARNOT. — Recherche des iodures dans les eaux minérales. (*Annales de Chimie analytique*, 1898, p. 73.)
- G. BERTRAND. — Dosage du manganèse. (*Bull. de la Société chimique*, 4^e série, t. IX, p. 361, année 1911.)
- M. PIÉRY, M. MILHAUD. — Les eaux minérales radioactives (1924).

- Th. NOGIER. — *Lyon Médical*, n° 2 (11 janvier 1925). Nouvelles recherches sur les eaux thermales de Sail-les-Bains (Loire).
- DENIGÈS. — *Traité de Chimie analytique*.
- E. BARRAL. — *Précis de Chimie analytique*.
- P. MOLLIEUX. — *Précis d'analyse chimique des eaux minérales*.
- X. ARNOZAN et H. LAMARQUE. — *Précis d'Hydrologie médicale*.
- M. PERRIN et Paul MATHIEU. — *Les Eaux minérales*.
1830. DUFRÉNOY. — Sur la relation des terrains tertiaires et des terrains volcaniques de l'Auvergne. (*Ann. des Mines*, t. VII, avec 2 pl.)
1836. DUFRÉNOY et Elie DE BEAUMONT. — Mémoires pour servir à une description géologique de la France, in-4°.
1864. LECOQ H. — Les eaux minérales du Massif central de la France, considérées dans leurs rapports avec la Chimie et la Géologie. Paris, in-8.
1870. LARTET L. — Compte rendu de la course faite le lundi 13 septembre par les membres de la Société géologique à Ronzon, Ceyssac, à la Denise, à Espaly et à Saint-Marcel. (*Bull. Soc. Géol. de France*, 2^e série, xxvi, p. 1048.)
1870. LORY. — Compte rendu de la course du 15 septembre à Polignac, Cussac, etc. (*Id.*, p. 1080.)
1885. DEPÉRET C. — Description géologique du Bassin tertiaire du Roussillon. (*Ann. des Sciences géologiques*, 1885.)
1889. BOULE M. — Constitution géologique des environs du Puy. (*Bull. Soc. géol. de France*, 3^e série, t. xvii, p. 270.)
1889. BOULE M. — Succession des éruptions volcaniques du Velay. (Compte rendus sommaires de la *Soc. de Géologie*, 2 déc. 1889, n° 3.)
- 1891 BOULE M. — Sur la limite entre le Pliocène et le Quaternaire. (*Bull. Soc. Géol. de France*, 3^e série, t. xviii, p. 945.)

1892. BOULE M. — Description géologique du Velay. (*Thèse Paris*, 1892.)
1910. A. BALDIT. — Sur la radioactivité des sources minérales du Velay. (Société scientifique et agricole de la Haute-Loire, communication faite le 30 octobre 1910.)
1925. A. BALDIT. — Sur un alignement des sources radioactives dans la région du Velay (Haute-Loire). *Compte rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, n° 13 (30 mars 1925), page 1027.
-

TABLE DES MATIERES

Avant-Propos.....	7
Introduction.....	9
Chapitre Premier. — Aperçu géographique et géologique de la Région des Estreys.....	13
Chapitre II. — Analyse chimique de l'eau minérale des Estreys.....	25
Chapitre III. — Analyse des gaz d'émission.....	49
Chapitre IV. — Analyse physique de l'eau des Estreys.....	51
Chapitre V. — Analyse bactériologique.....	55
Conclusions.....	57
Bibliographie	59
